

Paweł SUTOWSKI

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, KATEDRA INŻYNIERII PRODUKCJI

Wykorzystanie wartości skutecznej sygnału emisji akustycznej oraz metod sztucznej inteligencji do oceny zużycia ściernicy

Dr inż. Paweł SUTOWSKI

W latach 2001-2006 doktorant, od 2008 asystent, a od roku akademickiego 2008/2009 adiunkt w Katedrze Inżynierii Produkcji Politechniki Koszalińskiej. W swojej działalności naukowej zajmuje się zastosowaniem sygnału emisji akustycznej i metod sztucznej inteligencji do oceny przebiegu procesu szlifowania, w tym okresu trwałości ściernicy.



e-mail: pawel.sutowski@tu.koszalin.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono propozycję oceny zużycia ściernicy metodą pośrednią, opartą na analizie wartości skutecznej sygnału emisji akustycznej. Umiejętność podejmowania decyzji jest jednym z elementów wyróżniających inteligentne działanie, dlatego budowa systemu diagnostyki, który charakteryzowałby się takimi właściwościami wymaga użycia odpowiedniego narzędzia wykonawczego. Włączenie w układ monitorujący teorii zbiorów rozmytych, pozwoliło dokonać oszacowania stopnia stopienia czynnej powierzchni ściernicy i oceny jej okresu trwałości w trakcie procesu szlifowania.

Słowa kluczowe: szlifowanie, zużycie ściernicy, emisja akustyczna, wartość skuteczna, sztuczna inteligencja, logika rozmyta.

Use of acoustic emission signal rms value and artificial intelligence methods for grinding wheel wear evaluation

Abstract

In the paper the indirect method of grinding wheel wear evaluation is presented. This method is based on analysis of the root-mean-square value of an acoustic emission signal (AE). Application of the acoustic emission signal as a measure of changes occurring in the grinding zone enables the indirect assessment of the process without its stopping. The ability to take a decision is one of the elements distinguishing intelligent activities. Design of a diagnostic system with such kind of abilities requires the use of an appropriate executive tool. The conditional attributes for an intelligent expert system were set basing on the analysis of the test results, and in particular on the grinding process output values. For individual attributes there were assumed appropriate limit values representing a sharp, average or strongly used grinding wheel not suitable for further work. As a criterion of wear there were assumed macro- and micro-changes in the active surface of the grinding wheel as well as the stress in the top layer of the workpiece. The methods of artificial intelligence were implemented in the system to ensure its correct operation. Fuzzy logic included in the monitoring system allowed estimating the degree of the grinding wheel active surface wear and its lifetime during flat surface grinding. The complete system of the grinding wheel wear control which takes into account the temporary cutting ability and the chosen quality criterion is just a conceptual solution. It is expected that this system can successfully be used for construction of monitoring units and control of machining process.

Keywords: grinding, grinding wheel wear, acoustic emission (AE), root mean square, artificial intelligence, fuzzy logic.

1. Wprowadzenie

W warunkach produkcyjnych, kontrola procesu szlifowania jest często problematyczna, a niekiedy wręcz niemożliwa. Trudno jest bowiem bezpośrednio w trakcie szlifowania kontrolować wyniki obróbki (np. chropowatość powierzchni szlifowanej) lub przebieg procesu (np. poprzez pomiary i analizę wartości składowych siły szlifowania, mocy, czy też temperatury powierzchni przedmiotu obrabianego).

Ponadto, podczas szlifowania czynna powierzchnia ściernicy (CPS) ulega ciągłym zmianom. Dlatego w praktyce przemysłowej w większości przypadków, dokonuje się jedynie oceny szacunkowej zdolności skrawnej ściernicy w oparciu o zaobserwowane zewnętrzne objawy, np. wzrost poziomu drgań, pojawienie się przypaleń na powierzchni szlifowanej lub ton dźwięku emitowanego przez wirującą ściernicę. Jest to jednak ocena w dużej mierze subiektywna i mało dokładna, co w wielu przypadkach prowadzi do przekroczenia dopuszczalnych wartości wielkości wyjściowych procesu szlifowania, dyskwalifikując w ten sposób obrabiany przedmiot, lub zaniżenia dopuszczalnego okresu trwałości ściernicy w obawie przed tymi skutkami.

W związku z powyższym, poszukuje się skutecznych metod monitorowania procesu szlifowania, które umożliwiłyby, bezpośrednio na stanowisku roboczym, ocenę zarówno aktualnego stanu zużycia czynnej powierzchni ściernicy, jak i ocenę jakości powierzchni przedmiotu obrabianego. Aktualnie największe nadzieje, w tym względzie, wiąże się z analizą sygnału emisji akustycznej (EA), który w postaci impulsów przynosi informacje o zjawiskach zachodzących bezpośrednio w strefie szlifowania.

Badania nad zastosowaniem emisji akustycznej, jako metody pomiarowej w procesie szlifowania, obejmują szeroki obszar zagadnień i problemów związanych z jego przebiegiem. Najczęściej diagnozowane problemy związane z procesem szlifowania oraz metody ich monitorowania ujęto szeroko w pracach [1, 2].

Wobec powyższego, celem staje się skonstruowanie systemu, którego przeznaczeniem byłoby zarówno oszacowanie aktualnego zużycia narzędzia, jak i przewidywanie jakości przedmiotu przy wykorzystaniu odpowiednio dobranych deskryptorów sygnału emisji akustycznej. Tak skonstruowany system posłużyłoby do wspomagania operatora w podjęciu trafnych decyzji o kontynuowaniu szlifowania lub przesterowaniu procesu. Na podstawie zgromadzonych informacji ze strefy obróbki, system taki mógłby samodzielnie korygować nastawy procesu lub go zakończyć.

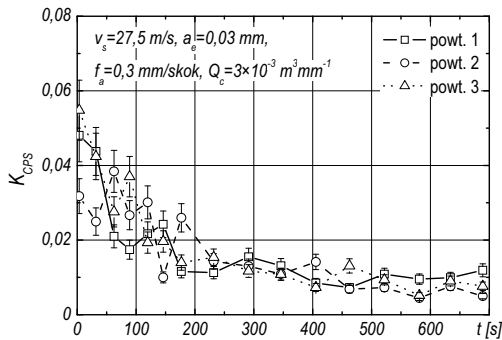
2. Zużycie ściernicy i zmiany sygnału emisji akustycznej

Geometryczne skutki zużycia ściernego i wytrzymałościowego, a także wzajemne ich udziały w zużyciu całkowitym, determinują określony stan geometrii CPS, który z kolei warunkuje kształt, ilość oraz rozłożenie wierzchołków ziaren w strefie szlifowania, a w konsekwencji rozkład sił w układzie ściernica - przedmiot obrabiany. Dlatego też, do oceny postępującego zużycia ziaren ściernych wykorzystano fakt zaistnienia zmian zdolności skrawnych ściernicy poprzez wyznaczenie geometrycznego wskaźnika zdolności skrawnych (K_{CPS}), w którego skład wchodzi: S_{st} – liczba wierzchołków ziaren (ostrzy) statycznych na jednostkę długości, a_{zsr} – średnia głębokość szlifowania przypadająca na jedno ziarno, R_c – średnia wartość wysokości wzniesień profilu, l_{st} – starcie względne wzniesień profilu (dla wierzchołków ziaren aktywnych), B_{kr} – długość czynnej krawędzi ściernicy [3]:

$$K_{CPS} = \frac{S_{st} \cdot a_{zsr} \cdot R_c}{l_{st} \cdot B_{kr}} \left[\frac{\text{mm} \cdot \text{mm}}{\text{mm} \cdot \text{mm}} = 1 \right]. \quad (1)$$

Ponieważ przyjęty wskaźnik w swojej formule ujmuje związki między parametrami charakterystycznymi dla mikro- i makrogeometrii, to analiza tego wskaźnika może stanowić syntezę zmian topografii CPS (rys. 1). Na wykresie, wyraźnie uwidacznia się spadek wartości K_{CPS} następujący wraz z upływem czasu pracy ściernicy, co świadczy o pogarszaniu się stanu jej roboczej części, a w konsekwencji także własności skrawnej.

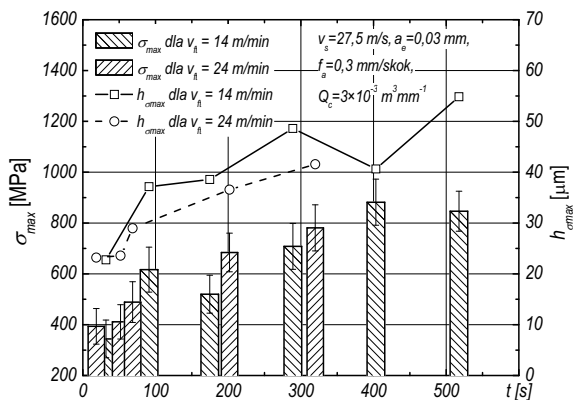
Zwiększenie starcia ziaren ściernych, czyli postępujące zużycie ściernie oraz wzrost pola strefy szlifowania (B_{kr}), powoduje zwiększenie siły w strefie szlifowania, a tym samym doprowadza do coraz większego tarcia ziaren ściernych o powierzchnię obrabianą. Zwiększenie składowych siły szlifowania jest jednoznaczne ze zwiększeniem energii skrawania ziarnem. Ponieważ ocenia się, że energia ta w 80% zamieniona zostaje na ciepło wnikające w materiał obrabiany, to zmiany gradientu temperatury wywołane zużyciem ściernicy wywierają istotny wpływ na fizyczne zmiany warstwy wierzchniej.



Rys. 1. Przykładowe zmiany wskaźnika zdolności skrawnych K_{CPS} w funkcji czasu pracy ściernicy 99A60J7V

Fig. 1. Exemplary changes of the machining ability ratio K_{CPS} vs. the 99A60J7V grinding wheel work time

Badając rozkład wartości naprężeń własnych (σ_{max}) w warstwie wierzchniej przedmiotów poddanych obróbce w funkcji czasu pracy ściernicy (rys. 2), stwierdzono jednoznacznie, że zarejestrowane wartości dla kolejnych punktów pomiarowych przybierały coraz to wyższe wartości. Równocześnie przesunęły się także wartości zalegania najwyższych wartości naprężeń w kierunku coraz większych głębokości ($h_{\sigma_{max}}$).



Rys. 2. Maksymalne naprężenia w warstwie wierzchniej powierzchni szlifowanych i głębokości ich zalegania w funkcji czasu pracy ściernicy 99A60J7V

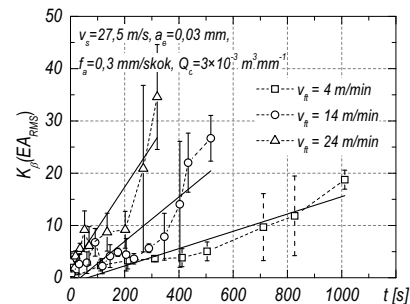
Fig. 2. The maximal stresses and their depth in the workpiece top layer vs. the 99A60J7V grinding wheel work time during grinding process

Zgromadzone wyniki stanowią podstawę do prognozowania własności warstwy wierzchniej przedmiotów szlifowanych poprzez kontrolę zużycia CPS. Jednakże, chcąc uniknąć pracochłonnych pomiarów parametrów geometrycznych topografii ściernicy, należałoby dokonać pośredniej oceny stanu zużycia ściernicy poprzez rejestrację i analizę zmian sygnałów wyjściowych procesu szlifowania, np. sygnałów emisji akustycznej.

Podstawowym założeniem w metodach wykorzystujących analizę sygnału emisji akustycznej jest hipoteza, według której sygnały EA zawierają wszystkie niezbędne informacje o zjawiskach towarzyszących procesowi szlifowania, w tym także informacje o stanie CPS. Sam sygnał emisji akustycznej stanowi względnie małą część wyzwolonej energii wewnętrznej materiału, ale jest na tyle duży, że jest łatwo mierzalny. Zostaje on wyemitowany

w postaci fali sprężystej, która rozchodzi się w całym badanym ciele od źródła emisji do powierzchni obiektu. W przypadku procesu szlifowania, sygnał emisji akustycznej ujmuje w sposób globalny zjawiska zarówno od strony narzędzia i przedmiotu. W szczególności, informuje o wielkości i charakterze odształceń w strefie szlifowania, wynikających z warunków obróbki oraz ze stanu zużycia ściernicy [1, 2].

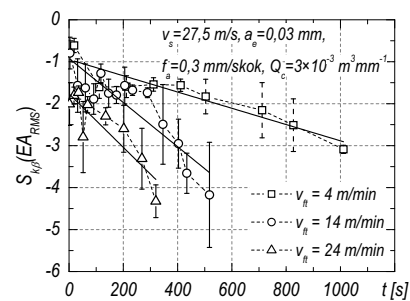
Rozpatrując parametry statystyczne sygnału EA, szczególnie współczynniki rozkładu β (spłaszczenie oraz asymetrię) odnośnie wartości skutecznej sygnału emisji akustycznej, wyniki badań i analiz wskazują na ich jednoznaczne zmiany zachodzące w trakcie postępującego procesu zużywania CPS [4].



Rys. 3. Przykładowe zmiany parametru kurtozy $K_{\beta}(EA_{RMS})$ wartości skutecznej sygnału EA w funkcji czasu pracy ściernicy 99A60J7V dla różnicowanej wartości posuwu

Fig. 3. Exemplary changes of the kurtosis $K_{\beta}(EA_{RMS})$ of the AE signal rms value vs. the 99A60J7V grinding wheel work time for different feed values

Za wzrost wartości sygnału EA w funkcji czasu pracy ściernicy, a tym samym postępującej utraty zdolności skrawnej, odpowiadają: coraz większa powierzchnia kontaktu i związana z tym większa liczba ziaren aktywnych w strefie szlifowania, dołączenie nowych źródeł EA, powiązanych ze zużyciem wytrzymałościowym oraz w końcowej fazie, pod koniec okresu trwałości ściernicy, dołączenie także źródeł związanych ze zużyciem ściernicy ściernic.



Rys. 4. Przykładowe zmiany skośności $S_{\beta}(EA_{RMS})$ rozkładu wartości skutecznej sygnału EA w funkcji czasu pracy ściernicy 99A60J7V dla różnicowanej wartości posuwu

Fig. 4. Exemplary changes of the skewness $S_{\beta}(EA_{RMS})$ of the AE signal rms value vs. the 99A60J7V grinding wheel work time for different feed values

Charakter zmian wartości parametru $K_{\beta}(EA_{RMS})$ - rys. 3 - oraz współczynnika asymetrii $S_{\beta}(EA_{RMS})$ - rys. 4 - wykazują, że ściernica ostra (zaraz po zabiegu obciążania) daje sygnały o rozkładzie zbliżonym do normalnego. W trakcie długotrwałego szlifowania i postępującego zużycia CPS, rozkład rejestrowanego sygnału EA oddala się od rozkładu normalnego - w wyniku wzrostu wskaźnika skośności oraz zmian współczynnika spłaszczenia (kurtozy). W momencie, gdy ściernica ulega całkowitemu zużyciu, a jej procesy samooczyszczenia nie są już efektywne, wartości sygnału EA wyraźnie wykazują cechy rozkładu leptokurtycznego (znacznie większa koncentracja, niż przy rozkładzie normalnym) oraz przybierają lewostronną asymetrię. Oznacza to, że analiza kształtu rozkładu sygnału emisji akustycznej, może być z powodzeniem wykorzystana do oceny zużycia ściernicy. Ponadto, wprowadzenie

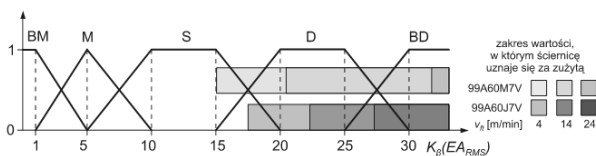
w przebieg zmienności współczynników K_{β} i $S_{k\beta}$ pośrednich wartości granicznych (dla różnych etapów zużycia CPS), pozwala wnioskować o kolejnych etapach utraty zdolności skrawnej ściernicy, zachodzących w miarę upływu czasu szlifowania oraz daje możliwość szacunkowego określenia naprężeń w warstwie wierzchniej przedmiotu obrabianego.

3. Oszacowanie stopnia zużycia ściernicy z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych

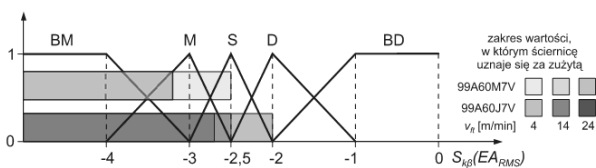
Budowa klasyfikatora stanu zużycia ściernicy, wykorzystującego pojęcia rozmyte (*Fuzzy Inference System*), wymaga określenia funkcji przynależności etykiet lingwistycznych i ustalenia bazy reguł decyzyjnych dla odpowiednio wybranego zbioru czynników charakteryzujących proces szlifowania. Jako reprezentatywne parametry i wielkości wyjściowe procesu wybrano zbiór wielkości odnoszących się do wartości skutecznej sygnału emisji akustycznej i wyróżniony w pracy [4]: natężenie koncentracji $K(EA_{RMS})$, kurtoza oraz skośność rozkładu β ($K_{\beta}(EA_{RMS})$, $S_{k\beta}(EA_{RMS})$), zmiany nieliniowego modelu odnoszącego się do asymetrii rozkładu β ($e^{Sk\beta}$) oraz zmiany parametru $E_{Sk\beta/RMS}$, reprezentującego utratę zdolności skrawnej CPS.

W oparciu o analizę wyników badań, a w szczególności wartości zarejestrowanych czynników wyjściowych procesu szlifowania (sygnał EA, naprężenia), dla poszczególnych atrybutów warunkowych przyjęto odpowiednie wartości graniczne (rys. 5).

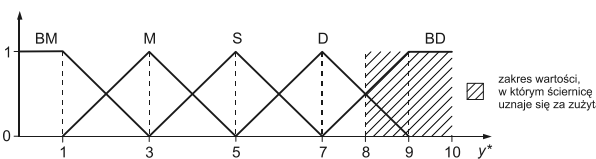
a) parametr kurtoza rozkładu β dla wartości skutecznej sygnału EA: $K_{\beta}(EA_{RMS})$



b) skośność rozkładu β dla wartości skutecznej sygnału EA: $S_{k\beta}(EA_{RMS})$



c) funkcja przynależności zmiennej wyjściowej (stopień zużycia ściernicy)



Rys. 5. Funkcje przynależności do poszczególnych zbiorów rozmytych dla wybranych zmiennych systemu wnioskowania rozmytego (FIS)

Fig. 5. Functions of belonging to individual fuzzy sets for selected variables of the fuzzy inference system (FIS)

Na podstawie zebranych informacji, odnoszących się do zmian geometrii narzędzia i zmian fizycznych warstwy wierzchniej materiału obrabianego oraz uzupełnieniu danych o klasyfikację podaną przez szlifierza, ustalono zbiór reguł rozmytych, które zamieszczono w tab. 1.

Za atrybut decyzyjny (wyjście z systemu logiki rozmytej), także przyjęto wielkość nieostrą, przyjmującą wartości: BM – bardzo małe zużycie (ściernica bardzo ostra), M – małe zużycie (ściernica ostra), S – średnie zużycie (ściernica średnio ostra/stepiona), D – duże zużycie (ściernica mało ostra), BD – bardzo duże zużycie (ściernica całkowicie stepiona).

Analiza porównawcza jakości oraz dokładności aproksymacji systemu informacyjnego i tablicy decyzyjnej wykazała, że można usunąć część czynników wejściowych, przy jednoczesnym zachowaniu prawidłowości działania systemu.

Definiując reduktor $RED(B)$, jako najmniejszy zbiór atrybutów, przy którym zostaje zachowana rozróżnialność obiektów, w opracowanym systemie wnioskowania rozmytego dominujące znaczenie w ocenie stopnia zużycia ściernicy miały wartości prędkości posuwu stycznego stołu szlifierki, czyli aktualne obciążenie ściernicy w strefie szlifowania oraz dwie pochodne emisji akustycznej w postaci parametru kurtoza oraz skośności rozkładu β dla wartości skutecznej tego sygnału [4]:

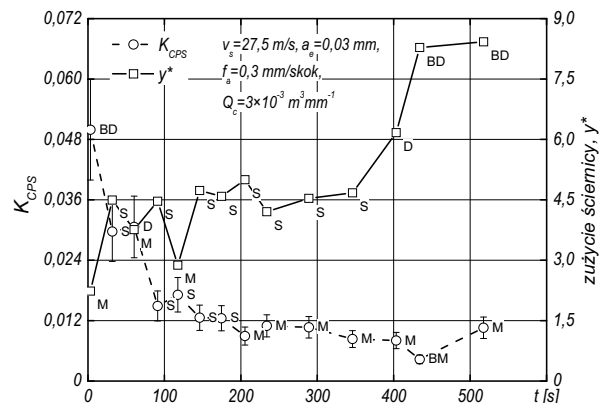
$$RED(B) = \{v_{\beta}, K_{\beta}(EA_{RMS}), S_{k\beta}(EA_{RMS})\}, \quad (2)$$

Tab. 1. Tablica decyzyjna stanowiąca reguły oceny zużycia ściernicy
Tab. 1. Decision table with rules for evaluation of grinding wheel wear

	Wartość lingwistyczna wejścia						zużycie (y^*)
	v_{β}	$K(EA_{RMS})$	$K_{\beta}(EA_{RMS})$	$S_{k\beta}(EA_{RMS})$	$e^{Sk\beta}$	$E_{Sk\beta/RMS}$	
JEZELI	M	BD	BM	BD	BD	BD	BM
	M	D	BM	D	D	D	M
	M	S	M	D	S	S	S
	M	M	S	S	M	M	D
	M	BM	S	M	BM	BM	BD
	S	D	BM	BD	D	D	BM
	S	D	M	D	D	S	M
	S	S	S	D	S	M	S
	S	M	S	S	M	M	D
	S	BM	D	M	BM	BM	BD
	D	D	BM	BD	S	S	BM
	D	S	M	D	S	M	M
	D	S	S	S	M	M	S
	D	M	D	M	M	M	D
	D	BM	BD	BM	BM	BM	BD

Na podstawie wybranych wartości granicznych funkcji przynależności czynników wchodzących w skład jądra systemu informacyjnego i opracowanych reguł, w oparciu o funkcje wbudowane w środowisku *Matlab* zbudowano system wnioskowania rozmytego typu *Mamdani*. W tym przypadku rozmyte wyniki kolejnych reguł łączone są poprzez operator agregacji (skupiania), a ostateczny wynik podlega defuzyfikacji, a na wyjściu systemu znajduje się konkretna wartość.

W celu weryfikacji poprawności działania opracowanego układu, na jego wejścia podano rzeczywiste sygnały zarejestrowane w trakcie badań eksperymentalnych. Aby zaobserwować rosnące zużycie narzędzia, parametry emisji akustycznej wprowadzono, tak jak je zebrano, czyli w funkcji czasu pracy ściernicy (usuniętej ilości materiału obrabianego). Wyniki działania opracowanego mechanizmu zaprezentowano na rys. 6.



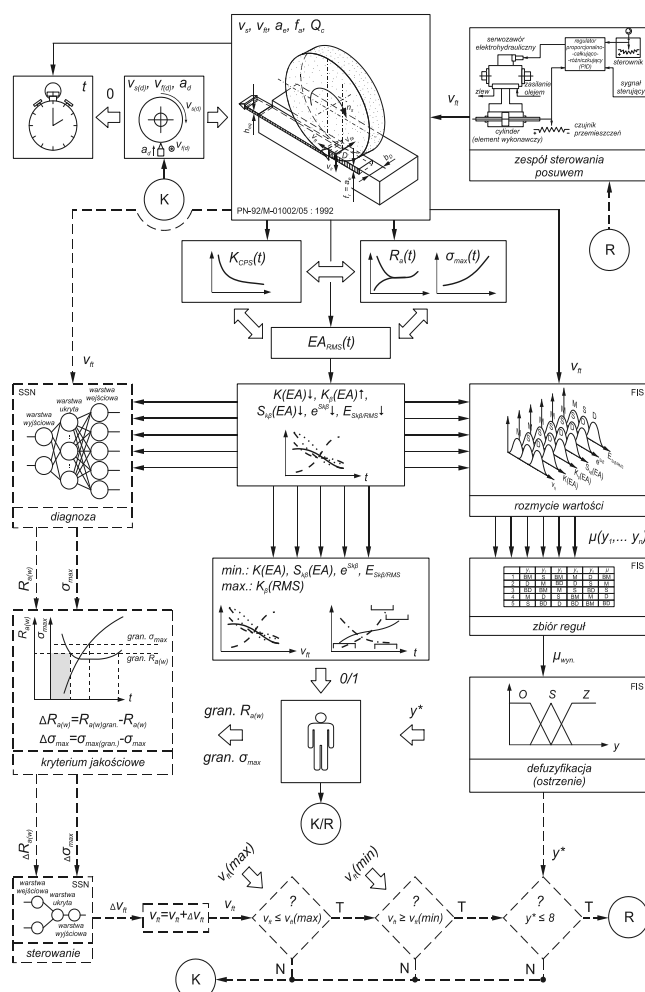
Rys. 6. Zarejestrowane wartości na wyjściu układu wnioskowania rozmytego otrzymane w wyniku podania do systemu rzeczywistych sygnałów EA zarejestrowanych w trakcie szlifowania ściernicą 99A60J7V

Fig. 6. Output values of the fuzzy inference module obtained for the real AE signals recorded during grinding with the 99A60J7V grinding wheel

Analiza otrzymanych rezultatów świadczy o efektywnym działaniu układu opartego na wnioskowaniu rozmytym. W funkcji czasu pracy ściernicy zaobserwować można bardzo wyraźny trend w zmianach wartości porównywanych parametrów. W czasie, gdy geometryczny wskaźnik zdolności skrawnej (K_{CPS}) maleje, to zużycie ściernicy określone poprzez parametr y^* rośnie. Szczególną cechą opracowanego układu, wynikającą z jego źródła (sygnał EA), jest reakcja na nagłe znaczące zmiany w strefie obróbki. Dzięki temu, w przypadku wystąpienia zjawiska samoostrezenia ściernicy, zdarzenie to można obserwować na wyjściu układu w postaci chwilowego spadku wartości y^* .

4. Inteligentny system sterowania procesem szlifowania

Układy diagnostyki tworzone w laboratoriach badawczych są z reguły wieloczułnikowe, podczas gdy w układach przemysłowych dominuje tendencja: jeden proces/narzędzie – jeden czujnik. Zrealizowane badania, dotyczące obróbki sygnałów EA rejestrowanych ze strefy szlifowania oraz sposobu ich wykorzystania do nadzoru procesu wytwarzania wykazały, że korzystne jest ich uśrednianie i wyznaczanie wartości skutecznej. Dlatego też, zdecydowano się zaproponować jedno-czułnikowy układ mogący w warunkach przemysłowych realizować zadania automatycznego sytemu diagnostyki ściernicy (ASDS) z wykorzystaniem wyłącznej parametrów statystycznych wartości skutecznej sygnału EA.



Rys. 7. Schemat systemu sterowania procesem szlifowania z uwzględnieniem zdolności skrawnej ściernicy, chropowatości powierzchni oraz naprężeń w warstwie wierzchniej przedmiotu obrabianego

Fig. 7. Schematic diagram of the system for control of the grinding process when taking into account the grinding wheel machining ability, surface roughness and stress in the workpiece top layer

Na rys. 7 zaprezentowano proponowany przez autora system, który łączy w sobie nie tylko zadania monitorowania, diagnostyki i sterowania, ale również w pewnym stopniu optymalizacji procesu szlifowania. Ze względu na główny cel realizowany przez system, określono go mianem *Systemu Wnioskowania Rozmytno o Stanie Ściernicy*. Jest to systemem hybrydowy, gdyż uwzględnia dwie formy sztucznej inteligencji: wnioskowanie rozmyte odnośnie stanu CPS oraz grupę sztucznych sieci neuronowych (SSN) realizującą zadanie sterowania obciążeniem ściernicy w strefie szlifowania z uwzględnieniem jakościowego kryterium obróbki. Obie części pobierają informacje z centralnej części systemu, w której następuje akwizycja sygnałów ze strefy szlifowania oraz ich obróbka (filtrowanie i analiza statystyczna).

Wyniki badań i analiz wskazują, że na podstawie wartości sygnału emisji akustycznej można oszacować (z pewnym przybliżeniem) wartości charakteryzujące powierzchnię szlifowaną. Ponadto, znajomość parametrów obróbki (obciążenia ziaren ściernych w strefie) oraz aktualnych wartości wybranych parametrów EA, pozwala na realizację zadania sterowania procesem przy jednoczesnym uwzględnieniu aspektu jakościowego obróbki (diagnostyka procesu oraz jego regulacja poprzez wygenerowanie nowych, korzystniejszych wartości nastaw).

Przy takim założeniu, wyniki działania wnioskowania rozmytego oraz sztucznej sieci neuronowej, spotykają się w obrębie algorytmicznego działania układu, gdzie podejmowana jest decyzja o kontynuacji obróbki z nową wartością posuwu lub o przerwaniu procesu.

5. Wnioski

Zaproponowany system wnioskowania rozmytego, przeznaczony do diagnostyki i sterowania procesem szlifowania, wykorzystuje sygnał EA mierzony w trakcie obróbki, by na podstawie jego parametrów, dokonać oceny stanu zużycia ściernicy oraz oszacować przebieg i wyniki procesu. W celu poprawnego działania, zaimplementowano w nim metody sztucznej inteligencji. Kompletny system sterowania posuwem, uwzględniający chwilową zdolność skrawną ściernicy oraz wybrane kryterium jakościowe, stanowi koncepcję. Przewiduje się, że może on być z powodzeniem wykorzystany do budowy układów monitorowania i sterowania przebiegiem obróbki. Ponadto, zgodnie z aktualną tendencją, opracowany system pozwala na eliminację (lub znaczne ograniczenie) udziału człowieka w bezpośrednim nadzorowaniu procesu wytwarzania.

Wydaje się, że zaprezentowane wyniki, a przede wszystkim opracowany klasyfikator stanu czynnej powierzchni ściernicy, stanowią przynajmniej częściowe rozwiązanie złożonego zagadnienia, jakim jest obiektywna ocena stanu czynnej powierzchni ściernicy. Szczególnie, że jest ona oszacowana z uwzględnieniem jakości technologicznej przedmiotu.

Przewiduje się, że niezależnie od dobrej twardości ściernicy i materiału obrabianego, a także nastaw procesu, system będzie spełniał swoje zadanie, a do poprawnej pracy wymagał będzie jedynie wcześniejszej kalibracji (ustalenia nowych wartości granicznych parametrów sygnału EA oraz funkcji przynależności). Zadanie to może być zrealizowane poprzez utworzenie bazy danych, z której system odczytywałby potrzebne informacje.

6. Literatura

- [1] Malecki I., Ranachowski J.: Emisja akustyczna – źródła, metody, zastosowania. KBN, Warszawa 1994, s. 19-33.
- [2] Oliveira J.F.G, Dornfeld D.A.: Application of EA Contact Sensing In Reliable Grinding Monitoring. Annals of the CIRP, vol. 50/1/2001, 2001, s. 217-220.
- [3] Plichta J.: Wpływ zużycia ściernicy na niestacjonarność topografii jej powierzchni roboczej. X Naukowa Szkoła Obróbki Ścierniej, Łódź, 1988, s. 17-24.
- [4] Sutowski P.: Ocena okresu trwałości ściernicy z wykorzystaniem wartości skutecznej sygnału emisji akustycznej w procesie obwodowego szlifowania płaszczyzn. Praca doktorska. Politechnika Koszalińska, 2008.